

不锈钢与热强钢

[法国] L·柯洛姆比 著
J·戈赫曼
赵忠译



中国工业出版社

不 锈 钢 与 热 强 钢

〔法国〕L·柯洛姆比 J·戈赫曼著

赵 忠 译

中 国 工 业 出 版 社

本书系根据法国巴黎 Dunod 出版公司1955年出版的, L·柯洛姆比 (Colombier) 和 J·戈赫曼 (Hochmann) 合著的“不锈钢与热强钢” (Aciers Inoxydables, Aciers Réfractaires) 一书的俄译本译出。

全书三篇中第一篇介绍不锈钢的性能、分类、合金元素对其组织的影响、腐蚀类型及腐蚀的试验方法等。第二篇介绍热强钢在高温下的化学安定性、机械性能及其试验研究方法、各种热强钢的性能。还专有一章介绍特殊用途热强钢与合金。第三篇介绍不锈钢与热强钢的生产与加工方法。

本书供冶金厂、锅炉、电机、化工、石油机械制造厂工程技术人員閱讀; 对大专学校有关专业师生亦有裨益。

Л. Колумбье Н. Гохман
НЕРЖАВЕЮЩИЕ И ЖАРОПРОЧНЫЕ СТАЛИ

Перевод с французского А. М. Ладогина
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ МОСКВА—1958

* * *
不 锈 钢 与 热 强 钢
赵 忠 译

*
冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊編輯室編輯 (北京灯市口71号)

中国工业出版社出版 (北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*
开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $13^{9/16}$ ·字数359,000

1964年3月北京第一版·1965年6月北京第二次印刷

印数2,771—8,410·定价(科五)1.90元

*
統一书号: 15165·2696(冶金-459)

目 录

概 論	1
-----------	---

第一篇 不 锈 鋼

第一章 各种合金元素对鋼的組織的影响	5
1. 鉻	5
2. 鎳	10
3. 其它合金元素	15
第二章 不锈鋼的性能	19
A. 馬氏体鋼	19
I 类鋼 (含 $<0.15\% \text{C}$ 、 $12\sim 14\% \text{Cr}$ 、 $\sim 0.5\% \text{Si}$ 、 $0.5\% \text{Mn}$)	20
II 类鋼 (含 $0.2\sim 0.4\% \text{C}$ 、 $13\sim 15\% \text{Cr}$)	23
III 类鋼 (含 $0.6\sim 1.0\% \text{C}$ 、 $14\sim 16\% \text{Cr}$)	30
IV 类鋼 (含 $0.1\% \text{C}$ 、 $16\sim 20\% \text{Cr}$ 、 $2\sim 4\% \text{Ni}$)	34
主要的工业用馬氏体鋼	37
馬氏体不锈鋼的应用和其耐腐蝕性	39
B. 铁素体鋼	40
1. 含 $15\sim 18\% \text{Cr}$ 鋼	41
2. 含 $25\sim 30\% \text{Cr}$ 鋼	50
主要的工业用铁素体鋼	64
B. 奥氏体鋼	65
1. 热处理	67
2. 物理性能	68
3. 机械性能	70
4. 低温对机械性能的影响	75
5. 加工硬化对机械性能的影响	77
6. 奥氏体鋼的組織	81
7. 主要的工业用奥氏体鋼	102

8. 奥氏体不銹鋼的应用	105
Г. 奥氏体-铁素体鋼	105
1. 机械性能与物理性能	107
2. 組織強化	108
3. 金相研究	110
4. 一般性能	112
Д. 非铁合金	113
第三章 不銹鋼的耐腐蝕性	117
A. 概論 鈍化	117
1. 腐蝕机理	117
2. 金屬的鈍化	120
3. 鈍化理論	122
B. 不銹鋼的腐蝕类型	123
1. 晶間腐蝕	125
2. 点腐蝕	150
3. 应力腐蝕	152
4. 渦蝕	155
5. 疲劳腐蝕	159
第四章 腐蝕試驗的方法	163
1. 基本原則	163
2. 耐腐蝕性的判断标准	165
3. 試驗方法	166
4. 材料的选择	186
第五章 各种腐蝕介质的影响	189
A. 大气腐蝕	189
B. 海水腐蝕	193
B. 无机酸中的腐蝕	198
1. 硫酸	198
2. 硝酸	215
3. 盐酸	223
4. 其它无机酸	226
Г. 有机酸中的化学安定性	230

Д. 盐溶液中的化学安定性	234
Е. 碱溶液和其它试剂中的化学安定性	238
化学安定性表	239

第二篇 热强钢与合金

第六章 高温下的化学安定性	258
A. 氧化现象	258
1. 纯金属的氧化	258
2. 合金的氧化	262
B. 试验方法	263
1. 称重法	263
2. 测量氧化过程中所吸收的氧的体积	268
3. 测量电阻丝寿命(耐久性试验)	268
4. 测量电阻的变化	269
5. 在人造气氛中试验	271
B. 成分对抗氧化性的影响	273
1. 铬、铝和硅的影响	273
2. 镍的影响	273
3. 晶粒度、碱土或稀土金属添加剂的影响	278
4. 碳、氮和氧的影响	281
Г. 在各种非氧化介质中的化学安定性	284
第七章 高温下的机械强度	298
1. 蠕变	298
2. 蠕变曲线	298
3. 蠕变机理	300
4. 研究蠕变的方法	307
5. 影响蠕变的冶金因素	310
第八章 热强钢与合金的主要性能	333
1. 低合金钼钢和铬钼钢($< 3\% \text{Cr}$)	333
2. 含 $5 \sim 6\% \text{Cr}$ 钢	335
3. 含 $7 \sim 10\% \text{Cr}$ 钢	339
4. 含 $13\% \text{Cr}$ 钢	340

5. 含17%Cr铁素体钢	341
6. 含25~30%Cr铁素体钢	341
7. 奥氏体铬镍钢	342
8. 高镍合金	348
热强钢的选择	350
第九章 某些特殊的热强钢与合金	352
1. 绕线电阻元件用合金	352
2. 阀门钢	356
3. 高热强合金	365

第三篇 生产与加工方法

第十章 生产与加工方法	376
A. 钢的生产	376
1. 用电炉熔炼	376
2. 用高频感应电炉熔炼	379
3. 钢的浇注	380
4. 铸造	381
B. 热机械加工——锻造和轧制	382
B. 热处理	387
Г. 冷变形——冷拔与冷轧	392
Д. 冲压与拉深	397
E. 机械加工	406
Ж. 焊接	413
З. 酸洗	421
И. 抛光、最终加工	426

概 論

在特殊鋼的廣闊領域內，不銹鋼的意義日益增長，雖然在四十年以前《鋼》與《不銹》的概念還是對立的。

關於誰先煉制不銹鋼的問題仍舊值得爭論，看來不銹鋼在很多國家同時開始應用。

勃里爾林 (Brearley) (英國) 在 1913 年報導，含碳量為 0.4% 的鋼當含 9~16%Cr 時具有良好的抗腐蝕性能。他 1915 年在加拿大和 1916 年在美国獲得專利權，生產這種鋼主要用來製造刀具。

在美国，幾乎與此同時，艾爾孚德·哈依涅斯 (Elwood Haynes) 探索切削工具用所謂《斯太立》鈷-鉻和鈷-鉻-鎢基合金後，指出這些合金如果含不少於 10%Cr 和 5%Co，即使加入鐵也具有高度耐腐蝕性。他在 1916 年獲得專利特許證，但直到 1919 年才開始使用。

在德國，施特勞斯 (Strauss) 和馬烏列爾 (Maurer) (馬烏列爾的工作是在奧斯蒙德 (Osmond) 領導下于法國開始的) 指出 (1914 年)，含足夠量鉻和鎳的鋼能抗氧化和酸的作用。雖然在 1912 年就發給專利特許證，僅在 1920 年的戰爭後才發表了這些工作的詳細報告，而克虜伯公司 (Krupp) 才開始生產這些鋼 (牌號 V1M 和 V2A)。

1917 和 1918 年，法國根據舍維那爾 (Chevenard) 在 IMPHY^① 實驗室的工作制定了屬於 ATV 類合金的含 10~15%Cr 和 20~40%Ni 的專用鋼。

可見，不銹鋼幾乎同時在四個國家出現。這是不足為奇的，因為在工業領域內的大部分發現都是很多學者參加長期研究完成

① 此縮寫字意義不詳。——譯者

的。

應該提到法国在这方面的著作。

还在1821年，別尔捷（Berthier）（法国）就曾报导，用鉻合金化的鋼具有高的抗氧化性，且随含鉻量的增加而增大，甚至他曾經推荐用这种鉻鋼来生产刀具。但是，不是含鉻量不足，就是含鉻量和主要是含碳量过高。毫无疑问，可能只使用碳化鉻作为合金添加剂是长期进行科学研究而不能实现工业应用的主要原因。

1877~1885年勃魯斯特宁（Brustlein）（法国）在烏尼^①賀尔采尔（Holtzer）公司各炼鋼厂創制了各种鉻鋼，他是最初研究鉻和碳对鋼性能影响的人之一。在这个时期內，勃魯西納（Bousingault）証实了鉻鋼具有良好的耐腐蝕性。

其它国家在这个时期进行的研究也未获得实际結果。最后，仅在20世紀初才借鋁热法获得低碳鉻鋼。

吉利（Guillet）⁽¹⁾在1904年发了探索很多鉻鋼的論文集，其中包括目前应用的馬氏体和鉄素体鋼。稍后又发表了奥氏体类鉻鎳鋼的著作。他确定了这些鋼的金相組織与机械性能，并規定了直到現在还在使用的分类法。經過几年法国坡尔特溫（Portevin）⁽²⁾和英国吉逊（Giesen）⁽³⁾結束了这一研究工作。

蒙納尔茨（Monnartz）⁽⁴⁾（德国，1911年）探索了这些合金的鈍化現象，他指出了开始出现鈍化的极限含鉻量（12%Cr），并确定了碳的影响、稳定化的可能性和鉬的有利影响。

这些著作的意义是如此巨大，以致查普弗（Zapffe）⁽⁵⁾认为，吉利和蒙納尔茨是不銹鋼的实际发明者。查普弗写道，「一般归之于斯特劳斯、馬烏列尔和勃里尔林的功績理应归功于吉利、蒙納尔茨、吉逊和坡尔特溫」。

在这些发现后（仅在1920年后才完全利用他們研究的成果）又进行了进一步的研究，并創制了很多新型合金。

① 烏尼（Unieux），法国地名。——譯者

法国在烏尼各炼鋼厂(后来合并于«Ateliers et Forges de la Loire»联合公司)曾經試制了第一批含碳量很低的(小于0.02%)奥氏体鋼,第一批耐晶間腐蝕和接受組織強化^①的奥氏体+鉄素体双相組織鋼。第一批用鎳、鉻、鋁、銅高度合金化的耐硫酸和盐酸的鋼。其它国家經過几年后才开始熔炼这些鋼。耐高溫鋼的最初研究和合金組織强化的探索,是与舍維納尔的名字分不开的。

不銹鋼可以分为以下几类(按吉利分类法)。

第一类包括所謂馬氏体鋼,和一般鋼一样淬火能够强化。这类鋼含 $12\sim 16\%$ Cr,含碳量在0.1到0.4%范围内变动;如果要求高硬度,有时含碳量超过0.4%。淬火后它們不但抗氧化力良好,而且具有高的强度。

第二类鋼謂之鉄素体鋼,含 $16\sim 30\%$ Cr,加热时組織稳定,冷却时不能淬火。抗氧化力比第一类鋼高,但机械性能常常不利,因而应用受到一定程度的限制。

第三类是更高合金化的称之为奥氏体的鋼,除含 $12\sim 30\%$ Cr以外,还含有鎳(7~20%或20%以上)和其它对鋼性能有很大影响的元素。加热时鋼的組織保持不变,淬火不能强化。18-8型鋼(18%Cr, 8%Ni)就屬於这类鋼。可以把具有奥氏体+鉄素体混合組織的鋼和鎳与鈷基合金归并入此类鋼。最初之所以探索不銹鋼主要由于它在一般溫度下的抗化学作用,但很快就出現了它在高溫下的安定性問題。

在这种情况下,起化学作用的是空气中的氧或其它气体,例如在高溫下进入各种反应的氢或者其它燃烧产物,有时这些气体是很活泼的,特別燃烧含硫化物燃料的时候。

曾經发现,鉻不但对一般溫度的抗氧化作用有利,而且也促进加热状态下的抗氧化性。然而在高溫下使用鋼时出現与机械强度有关的新問題。在冷态受載荷出現的純彈性变形上迭加了在高溫下随時間而增大的不可逆永久变形(«蠕变»)。热强鋼應該

① 組織強化是指用热处理方法改变鋼的組織,以提高鋼的强度。——譯者

选择在高溫下具有最有利机械性能的合金，即是奥氏体类鋼。以后，更进一步創制了新型合金，这些合金在热状态不但能很好地抗化学作用，而且具有足够的机械变形抗力。但是，所有这些鋼与合金都是吉利所确定的組織和蒙納尔茨探索的鈍化与化学安定性的发展。

本书的第一篇将討論在一般和升高溫度下的湿和干介质中耐腐蝕的不銹鋼。将証明加入鉻、鎳、鉬能够解决腐蝕問題。叙述这些鋼的組織和性能，在不同化学活性物质中的性能，以及它們的工业用途。

第二篇将研究热强鋼，即是在高溫下同时具有化学安定性与机械强度的鋼。这里将指出这些合金与新用途有关的性能、加热状态下的耐腐蝕性和蠕变强度。

书的第三篇将叙述不銹鋼和热强合金的生产和加工方法。

参 考 文 献

1. Guillet, L. Rev. Mét. 1904, vol. 1, p. 155; 1905, vol. 2, p. 350; 1906, vol. 3, p. 372.
2. A. Portevin, Iron and Steel Institute, Carnegie Scholarship Memoirs, 1909, vol. 1, p. 230.
3. W. Giesen, Iron and Steel Institute, Carnegie Scholarship Memoirs, 1909, vol. 1, p. 1.
4. P. Monnartz, Metallurgie, 1911, vol. 8, p. 161
5. C. A. Zapffe, Stainless steels, Publication A. S. M. 1949.

第一篇 不 銹 鋼

第 一 章

各种合金元素对鋼的組織的影响

不銹鋼的耐腐蝕性主要是由于鉻的存在决定的。含鉻量不太多、約 5 % 就已能显著的增强耐腐蝕性，然而仅从含鉻 10~12 % 开始才可以說是所謂的「不銹鋼」。

鉻之所以增加鋼的耐腐蝕性，乃是由于它能在金屬表面上形成一层实际为腐蝕介质不能透过和不溶解的薄氧化膜。一般认为这一层膜仅能在氧化介质中生成（現時已提出其它理論，这些理論将在「耐腐蝕性」一章討論）。

添加鎳会使鋼在弱氧化或不氧化介质中具有高的安定性。它的影响不仅表现为增加鋼的耐腐蝕性，而且表现在改变鋼的組織。用鎳可以制成韌性高、高溫机械强度大、以及焊接性能良好的合金。

鉻和鎳是不銹鋼的主要合金元素。

此外，可以应用其它合金元素添加剂：欲增加在湿介质中的耐腐蝕性可加入鉬和銅；欲增加在很高溫度下的抗氧化性可加入硅和鋁。

1. 鉻

鉻是不銹鋼的主要合金元素。鉄-鉻（不含碳）状态图如图 1 所示。

鉻屬於稳定 α 鉄和縮小 γ 鉄区的元素。純鉄的 Ac_3 点位在 910° 左右；将含鉻量增加到 $\sim 8\%$ ，会使此点降低到 850° 。繼續增加含鉻量， Ac_3 点迅速升高。另一方面，純鉄的 Ac_4 点約在 1400° 左右，此点随含鉻量的增加而降低，当含 12~13%Cr 时下

降到 1000° 。所以，当含铬量 $12 \sim 13\%$ 时 γ 区就封闭了。以后将证明，铬的这一极限含量（ $12 \sim 13\%$ ）将随含碳量而改变。

γ 迴线将状态图分成两部分。含铬量小于 12% 的合金在加热时发生 $\alpha \rightarrow \gamma$ 转变，而在冷却时发生 $\gamma \rightarrow \alpha$ 转变。含铬量大于 13% 的合金不发生任何相变，在整个温度范围内均保持 α 相组织，从而形成一种特殊类型的合金，这种合金的晶粒度不能经过热处理而加以改变。

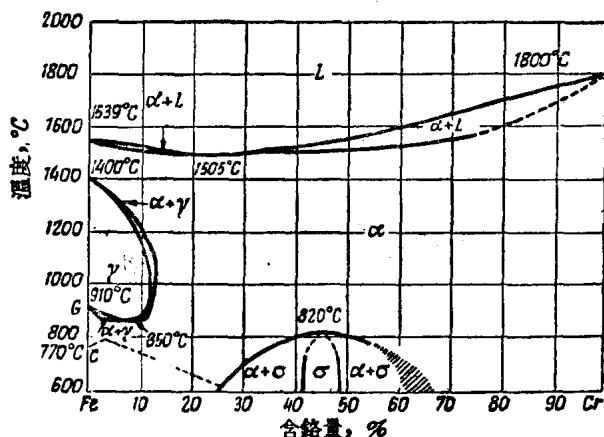


图 1 铁-铬系状态图

当含铬量略低于 $12 \sim 13\%$ 时，在加热到 1000° 的过程中合金具有 $\alpha + \gamma$ 双相组织。

在含 $\sim 45\%$ Cr 的合金中，于低温出现所谓 σ 相。 σ 相是 Fe-Cr 化合物，当温度高 820° 时溶解入铬 α 铁素体^①中。在各种含铬量的铁素体钢^②中，除了铁素体外均存在此相，但它存在的上下浓度极限还未足够准确的确定。

铁素体铬钢中存在 σ 相，会使钢产生脆性。例如，在 $600 \sim 800^{\circ}$ 温度范围内足够长的时间保温，就可能出现这种脆性，并

① 铬在 α 铁中的固溶体。——译者

② “铁素体”系译者加的。

常常伴有硬度显著增高。

以上所述的是无碳铁铬合金的特征。碳的存在改变了合金状态图的形状。碳的影响首先在于将 γ 区界向铬量更高的一面移动，同时扩大 $\alpha + \gamma$ （铁素体+奥氏体）双相区图2（按查普弗）示出我们感兴趣的一部分相图。当含碳量0.6%时（这时含铬量为18%），纯奥氏体组织的合金的界线向右移动达最大值。再大的含碳量会增加自由渗碳体的数量。含铬量高时（到26~27%）加热时合金具有铁素体+奥氏体混合组织。含铬量超过27%的合金，不管含碳量如何均是铁素体组织。碳是 γ 铁形成元素，因而大大扩大铁铬合金的奥氏体稳定区。

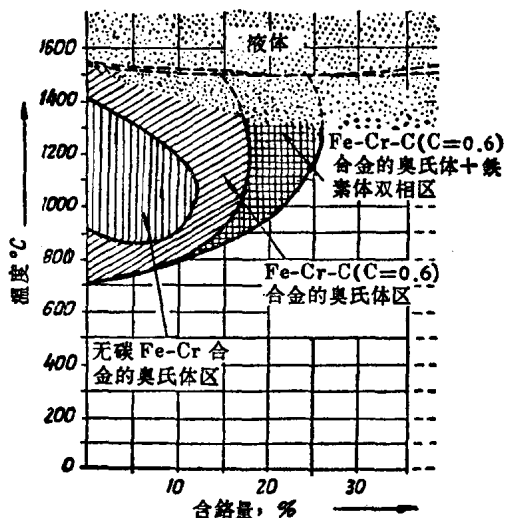


图2 碳对铁铬合金组织的影响

碳的影响还表现在形成特殊的碳化物。在中等含铬量（10%以下）的合金中形成渗碳体型的碳化物 $(\text{Fe}, \text{Cr})_3\text{C}$ ，这种碳化物含铬达15%。含铬量更高时出现复杂的碳化物 $(\text{Cr}, \text{Fe})_7\text{C}_3$ 和 $(\text{Cr}, \text{Fe})_4\text{C}$ ，还可能形成碳化物 $(\text{Fe}, \text{Cr})_{23}\text{C}_6$ 。图3~6是

含碳在1%以下含铬量相应为0、6、12、18%合金状态图截面。

图3是普通的铁碳合金状态图。

左上角的状态图(图3)反映出含碳量不多的合金在高温下的状态。纯铁中在N点(1400°)发生 $\gamma \rightarrow \delta$ 转变。在此点转变后合金具有 α 铁的体心立方晶格,且一直保持到熔化。低碳钢有两个区域:NHA和NHI。在NHA区的金属呈 δ 组织,可以溶解

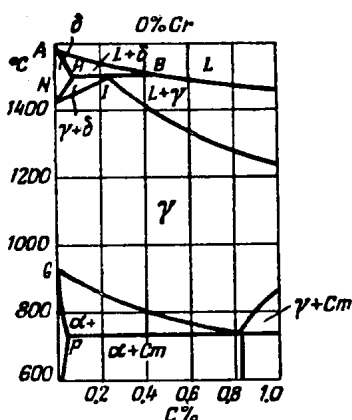


图 3

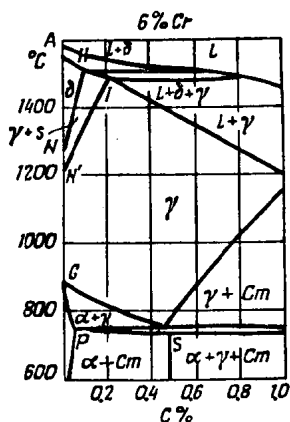


图 4

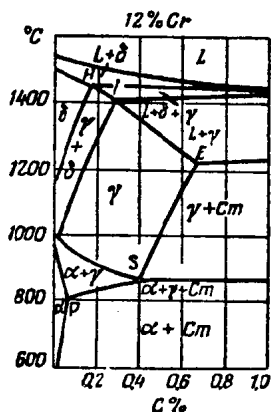


图 5

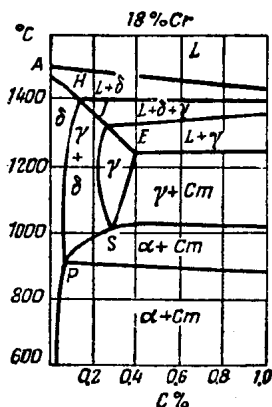


图 6

图 3~6 含0、6、12、18%Cr及0~1%C合金的状态图

极少量的碳，但在 NHI 区出现 $\gamma + \delta$ 混合組織。高于部分固相綫 HI ，金屬开始熔化，形成液体金屬与 δ 鉄的混合物。

加入 6%Cr 改变状态图的形式（图 4）。 δ 相区扩大， N 点分开，且降到 1200° ，并且 NHA (δ) 相区和 $NHNI$ ($\delta + \gamma$) 相区的面积大大扩大。这相当于 γ 区的縮小，加之共析点 S 和碳化物溶解綫向含碳量低的一面移动，結果 γ 相区更被縮小了。在 1000°C 时无鉻鋼形成可溶 1.4% C 的奥氏体。但在含 6%Cr 的鋼中在同一溫度下溶解不多于 0.8% C 。

图 5 和 6 表明，含鉻量增加到 12 和 18% 时状态图继续发生变化。在含 18%Cr 的低碳鋼中，相当于 $\alpha \rightarrow \gamma$ 转变和 $\gamma \rightarrow \delta$ 转变的 G 和 N 点消失。合金在室溫到熔点的溫度范围内不发生相变。最后可以指出，当含 6%Cr 时就已发现 PS 綫分叉，出现三相区 ($\alpha + \gamma + \text{碳化物}$)，此三相区在含鉻量相对小的鋼中并不存在。

根据含碳量的不同，可以把含 18%Cr 的鋼分成三类：含碳量小于 0.08% 的鋼，这类鋼全是鉄素体，在所有溫度范围内不发生任何相变；含碳 0.08~0.22% C 的鋼，这类鋼在加热时发生部分相变，形成奥氏体 + 鉄素体的混合組織；含碳量大于 0.22% 的鋼，加热转变成成为奥氏体，接受一般的淬火。由此之故必須作一說明。碳化鉻在奥氏体中的扩散（溶解）比渗碳体慢得多，碳化鉻减慢了冷却时的转变过程，引起滞后，从而改进淬透性。当含鉻量約 6% 时鋼能在空气中淬火。

共析点 S 随着含鉻量的增加向左移。在很緩慢冷却所获得的退火状态，鉻鋼珠光体的含碳量比无鉻碳鋼珠光体的含碳量少得多（12%鉻鋼珠光体含 0.40% C ，而无鉻碳鋼的为 0.83%）。在含 12%Cr 的鋼中，如果含碳量超过 0.4%，則已是过共析鋼了，并且在退火状态的組織中出现类似 1.2% C 碳鋼网状渗碳体的碳化物。

共析点在向左移的同时还向高的溫度范围移动。例如，无鉻鋼的共析点在 720° ，而当含 12%Cr 时仅在 800° 才开始转变。由此可知必須提高淬火溫度。当然，提高淬火溫度也与前面所述的碳

化物的不易扩散而使溶解过程缓慢有关。

最后，比较状态图可以看出，随着含铬量增大 γ 区逐渐缩小。

根据以上所述可以把铬不锈钢分为三类：

1) 马氏体钢。这类钢可以在加热时完全转变为奥氏体，冷却时能够淬火，在与含铬成比例增加的对应含碳量下，可含12~18%Cr；

2) 铁素体钢。含碳量很低时这类钢可含16~30%Cr。为了获得纯铁素体组织，铬与碳的含量需成反比；

3) 淬火后获得马氏体+铁素体双相组织的钢。

第I、II类钢的实际意义最大，将在以后详细讨论。

2. 镍

镍是 γ 相形成元素，扩大奥氏体稳定区；无铬含24%Ni以上的低碳钢，在一般温度下是奥氏体组织。增加钢中的含碳量时，镍的这一极限含量减小。

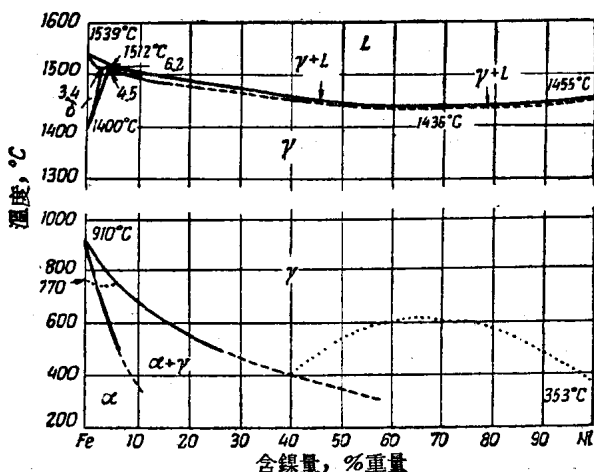


图 7 铁-镍系状态图